

## Sebaran Aktivitas Radionuklida Alam dalam Sedimen di Perairan Sluke Rembang, Jawa Tengah

Jarot Marwoto<sup>1</sup>, Muslim<sup>1\*</sup>, Zanet Dwi Aprilia<sup>1</sup>, Purwanto<sup>1</sup> dan Murdahayu Makmur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275

<sup>2</sup>Kelompok Radioekologi Kelautan, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi,  
Badan Tenaga Nuklir Nasional,  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Kotak Pos 7043, Jakarta Selatan 12070, Indonesia  
Email: aqua\_muslim@yahoo.com

### Abstract

#### *Distribution of Natural Radionuclides in Sediment in the Sluke Waters of Rembang, Central Java*

The existence of natural radionuclides has been around since the earth was formed. Steam Power Plant in Sluke Rembang is operated by coal fuel that produces some natural radionuclides that release as a gas through the chimney to atmosphere. These radionuclides fall on the land and sea. The purpose of this study was to know the activity of gamma-emitting natural radionuclides in sediments and its distribution in the Sluke waters of Rembang. The result showed that activity of <sup>40</sup>K, <sup>212</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra dan <sup>228</sup>Ac appeared fluctuating with a range from 160.54-503.87 Bq/kg; 88.62-333.34 Bq/kg; 66.07-95.24 Bq/kg and 95.30-466.46 Bq/kg respectively. The distribution of natural radionuclides was affected by topography, resources and the movement patterns of currents that move from the source of radionuclides to the northeast. The data obtained in this study will serve as baseline data in natural radionuclide in Sluke, Rembang.

**Keywords:** Natural radionuclides; Steam Power Plant; Current patterns; Sluke waters

### Abstrak

Keberadaan radionuklida alam sudah ada sejak bumi terbentuk. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Sluke Rembang dioperasikan dengan bahan bakar batu bara yang menghasilkan beberapa radionuklida alam dalam bentuk gas yang dilepaskan melalui cerobong asap ke atmosfer. Radionuklida tersebut akhirnya jatuh di darat dan di perairan laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas radionuklida alam dalam sedimen dan distribusinya di perairan Sluke, Rembang. Hasil penelitian menunjukkan nilai aktivitas radionuklida alam <sup>40</sup>K, <sup>212</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra dan <sup>228</sup>Ac berfluktuasi, secara berturut-turut adalah dari 160,54-503,87 Bq/kg; 88,62-333,34 Bq/kg; 66,07-95,24 Bq/kg dan 95,30-466,46 Bq/kg. Distribusi aktivitasnya dipengaruhi oleh topografi, sumber dan pergerakan pola arus yang bergerak dari sumber radionuklida menuju ke timur laut. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai baseline unsur radionuklida alam (NORM) di Sluke Rembang.

**Kata Kunci:** Radionuklida alam; PLTU; Pola arus; Perairan Sluke

### PENDAHULUAN

Radionuklida alam atau yang biasa disebut dengan NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) merupakan zat yang memancarkan radiasi secara alami di lingkungan dan telah berlangsung selama 4,5 milyar tahun sejak terbentuknya bumi.

Sumber NORM berasal dari luar angkasa (*cosmis*) dan tanah (*soil*) (Maher dan Saleh, 2007). Aktivitas dan sebaran NORM di lingkungan khususnya di sedimen laut perlu dipelajari, karena unsur-unsur tersebut akan masuk dalam suatu kehidupan organisme yang akhirnya berpengaruh pada manusia melalui rantai makanan (UNSCEAR, 2008),

sehingga penting untuk evaluasi resiko kesehatan manusia (El-Taher and Madkour, 2011). Jadi bila suatu wilayah ada sumber NORM, maka sangat perlu dilakukan monitoring, karena akan mengakibatkan pendistribusian NORM menjadi luas dan mudah mengalami peningkatan aktivitas (Cooper, 2005).

PLTU Sluke-Rembang adalah PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap) yang menggunakan bahan bakar batu bara berk kalori rendah sebagai pengganti BBM. Setiap tahunnya membutuhkan sekitar 2,16 juta ton batu bara (Modesta, 2008). Menurut Uslu dan Gökmeşe (2010), operasional PLTU batubara mengeluarkan abu layang (*fly ash* dan *bottom ash*) dari hasil pembakaran. Aktivitas bongkar muat kapal tongkang yang membawa batu bara juga menyisakan reruntuhan batubara yang jatuh saat pembongkaran menuju tempat penyimpanan (*stockfile*). Cooper (2005) telah mendapatkan bahwa pemakaian batu bara dapat mengakibatkan peningkatan aktivitas radionuklida berupa Uranium (<1%) dan Thorium sekitar 6% yang berpotensi meradiasi manusia (Coles et al., 1978).

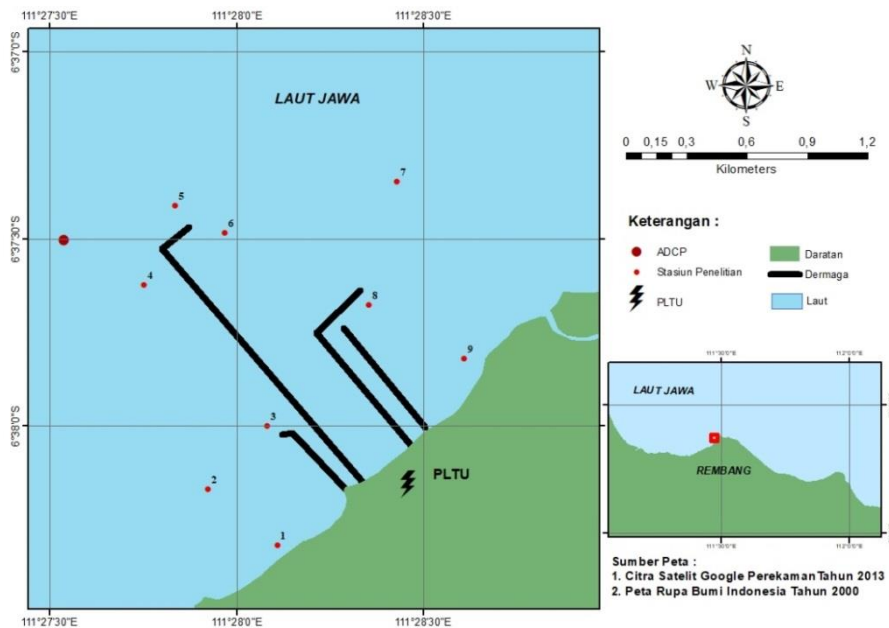
Sihono et al., (2012) telah melakukan penelitian dengan mengambil sampel udara dan menyatakan bahwa PLTU Rembang mengeluarkan radionuklida <sup>234</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>212</sup>Pb, <sup>208</sup>Tl, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi dan <sup>40</sup>K dengan nilai aktivitas berkisar antara 3-6 Bq/m<sup>3</sup>. Radionuklida dari

abu layang akan jatuh ke perairan Sluke dan disebarkan oleh arus laut. Arus laut mempengaruhi adanya resuspensi sedimen melalui proses turbulensi yang akan mengakibatkan pelepasan aktivitas radionuklida dalam sedimen.

**MATERI DAN METODA**

Penentuan lokasi didasarkan dengan *purposive sampling method* yaitu metoda penentuan lokasi yang dipilih dengan cermat sehingga stasiun-stasiun yang dipilih mewakili perairan Sluke, Rembang sebagai daerah penelitian. Adapun pertimbangan yang dipakai adalah berdasarkan daerah yang mewakili pantai (Stasiun 1 dan 9); daerah peralihan antara daerah pantai dan lepas pantai (Stasiun 2, 3, 7 dan 8), dimana stasiun 2 merupakan daerah dekat ekosistem mangrove; daerah lepas pantai (Stasiun 4, 5 dan 6), dimana stasiun 5 merupakan daerah pembongkaran muatan batubara. Jadi penentuan lokasi dipilih oleh penulis menurut ciri-ciri spesifik dan karakteristik tertentu (Djarwanto dan Subagyo,1998). Lokasi masing-masing stasiun sampel dapat dilihat pada Gambar 1.

Sampel sedimen sebanyak sekitar 2 kg per stasiun diambil dengan menggunakan sedimen *grab*. Sebelum dianalisa tingkat aktivitasnya, sampel sedimen dikeringkan dengan panas sinar matahari, kemudian



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian

untuk menghilangkan kandungan airnya dikeringkan dengan oven pada temperatur 100 °C. Selanjutnya sedimen dihomogenkan dengan menggunakan grinder tipe Fritsch dengan ukuran 50 µm. Sampel sedimen sebanyak 1000gram diambil dan dimasukkan kedalam Marinelli untuk dihitung aktivitasnya. Pengukuran aktivitas sampel dengan spektrometer gamma dilakukan selama 72 jam (3 hari).

Pengukuran data arus dilakukan dengan menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) yang dapat merekam data secara otomatis. Prinsip kerja ADCP menggunakan teknik euler yaitu pengamatan data arus pada lokasi yang tetap (Poerbandono dan Djunasjah, 2005). Data yang diperoleh meliputi kecepatan dan arah arus. Pengukuran atau perekaman data arus dilakukan pada kedalaman 10 meter. Hasil pengamatan data arus ADCP digunakan untuk verifikasi dengan data satelit hasil pembacaan *software* Ferret.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa radionuklida alam pada 9 titik pengambilan sampel didapatkan nilai aktivitas NORM yang fluktuatif, dimana nilai aktivitas <sup>40</sup>K berkisar dari 160,54-503,87 Bq/kg dengan nilai rata-rata 365,79 Bq/kg; <sup>212</sup>Pb berkisar dari 88,62-333,34 Bq/kg dengan nilai rata-rata 162,01 Bq/kg; <sup>226</sup>Ra berkisar dari 66,07-95,24 Bq/kg dengan nilai rata-rata 76,70 Bq/kg dan <sup>228</sup>Ac berkisar dari 95,30-466,46 Bq/kg dengan nilai rata-rata 216,02 Bq/kg. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

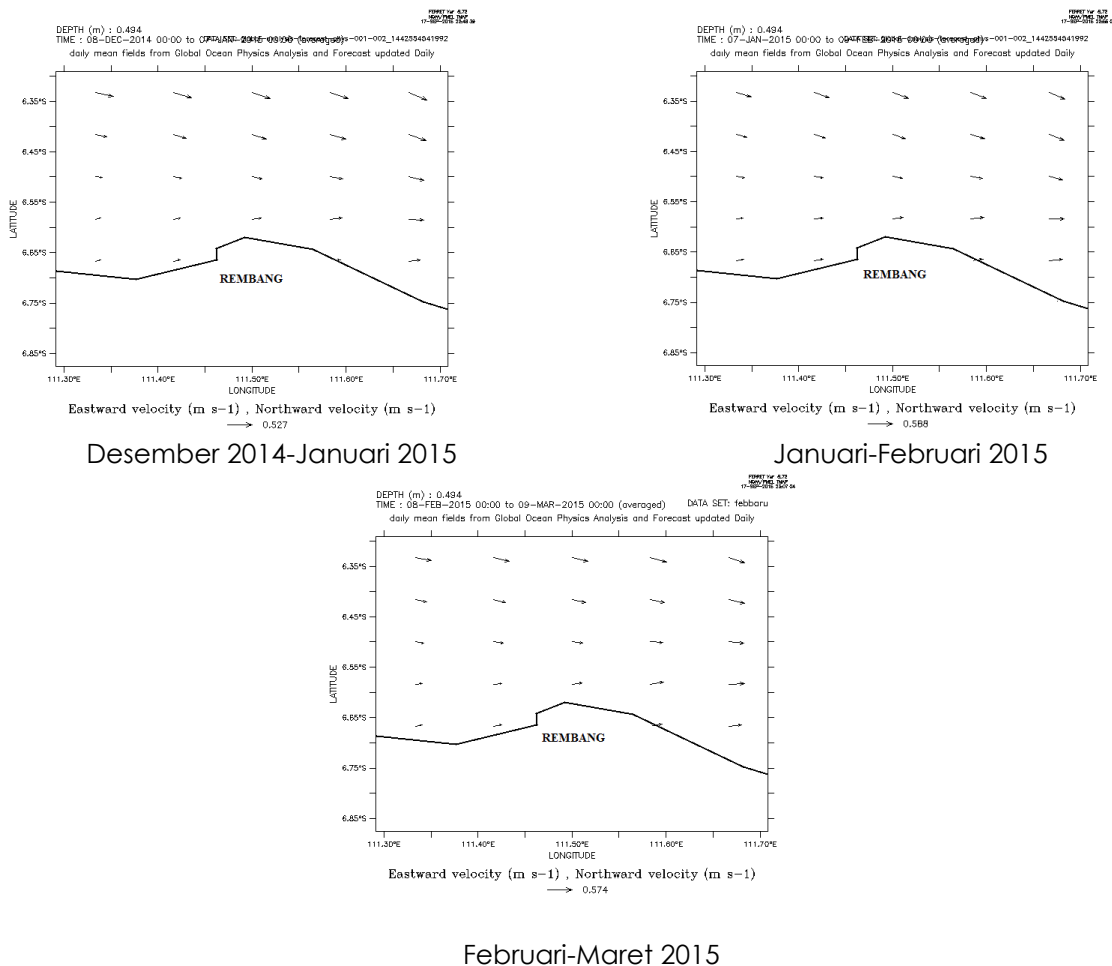
Tabel 1 terlihat bahwa nilai aktivitas masing-masing unsur radionuklida pada tiap stasiunnya sangat fluktuatif, hal ini karena dipengaruhi oleh faktor geologi, geografi dan jarak dengan sumbernya (El-Saharty, 2013). Data di atas menunjukkan nilai radionuklida <sup>40</sup>K memiliki rata-rata aktivitas tertinggi dibanding unsur yang lain yaitu 365,79 Bq/kg. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Peterson *et al.*, (2007), bahwa radionuklida <sup>40</sup>K memiliki ketersediaan di alam lebih banyak dibandingkan dengan unsur radionuklida lainnya. Sedangkan radioaktivitas <sup>226</sup>Ra memiliki nilai paling rendah yaitu 76,70 Bq/kg. Hal ini sama seperti yang terjadi di *south-western* Nigeria, dimana kandungan <sup>226</sup>Ra di soil, rock, clay, sedimen dan food crop samples adalah paling rendah dibanding dengan unsur yang lain (Jibiri *et al.*, 2016). Rendahnya aktivitas <sup>226</sup>Ra dipengaruhi oleh sifat kimia dari unsur tersebut. Prihatiningsih dan Suseno (2012) menjelaskan, bahwa <sup>226</sup>Ra lebih mudah lepas dari matriks sedimen dibandingkan dengan <sup>40</sup>K, <sup>212</sup>Pb dan <sup>228</sup>Ac. Fenomena tersebut juga sama dengan yang terjadi di Iran dimana nilai rata-rata aktifitas untuk <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra dan <sup>232</sup>Th di soil dan terrestrial secara berturut-turut adalah 457,7 Bq/kg; 24,3 Bq/kg dan 25,8 Bq/kg (Kardan *et al.*, 2017). Terlihat nilai aktivitas <sup>40</sup>K di perairan Sluke (365,79 Bq/kg) jauh lebih rendah dari yang ada di Iran (457,7 Bq/kg), hal ini dimungkinkan karena <sup>40</sup>K yang ada di perairan Sluke banyak yang terlarut di perairan. Sedangkan nilai aktivitas <sup>226</sup>Ra di perairan Sluke (76,70 Bq/kg) lebih tinggi dari yang ada di Iran (24,3 Bq/kg) hal ini dimungkinkan di sedimen perairan Sluke ada sumber <sup>226</sup>Ra.

**Tabel 1.** Nilai Aktivitas Radionuklida Alam

Stasiun	Koordinat		Aktivitas (Bq/kg)			
	BT	LS	<sup>40</sup> K	<sup>212</sup> Pb	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ac
1.	111°46'73''	6°63'92''	237,10	162,54	83,71	194,53
2.	111°46'42''	6°63'56''	378,97	145,80	74,81	212,23
3.	111°46'81''	6°63'32''	349,84	156,51	67,17	205,53
4.	111°46'24''	6°62'69''	414,08	146,55	77,59	190,48
5.	111°46'38''	6°62'39''	503,87	333,34	83,6	466,46
6.	111°46'48''	6°62'47''	456,40	128,61	70,12	165,50
7.	111°47'46''	6°62'34''	414,51	166,59	71,93	226,56
8.	111°47'23''	6°62'78''	376,84	88,62	66,07	95,30
9.	111°47'64''	6°62'98''	160,54	129,59	95,24	187,55
	Rata-rata		365,79	162,01	76,70	216,02

**Tabel 2.** Kedalaman Perairan Sluke Rembang

Stasiun	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kedalaman (m)	0,25	4,57	1,75	8,0	8,8	8,08	6,53	2,65	0,32



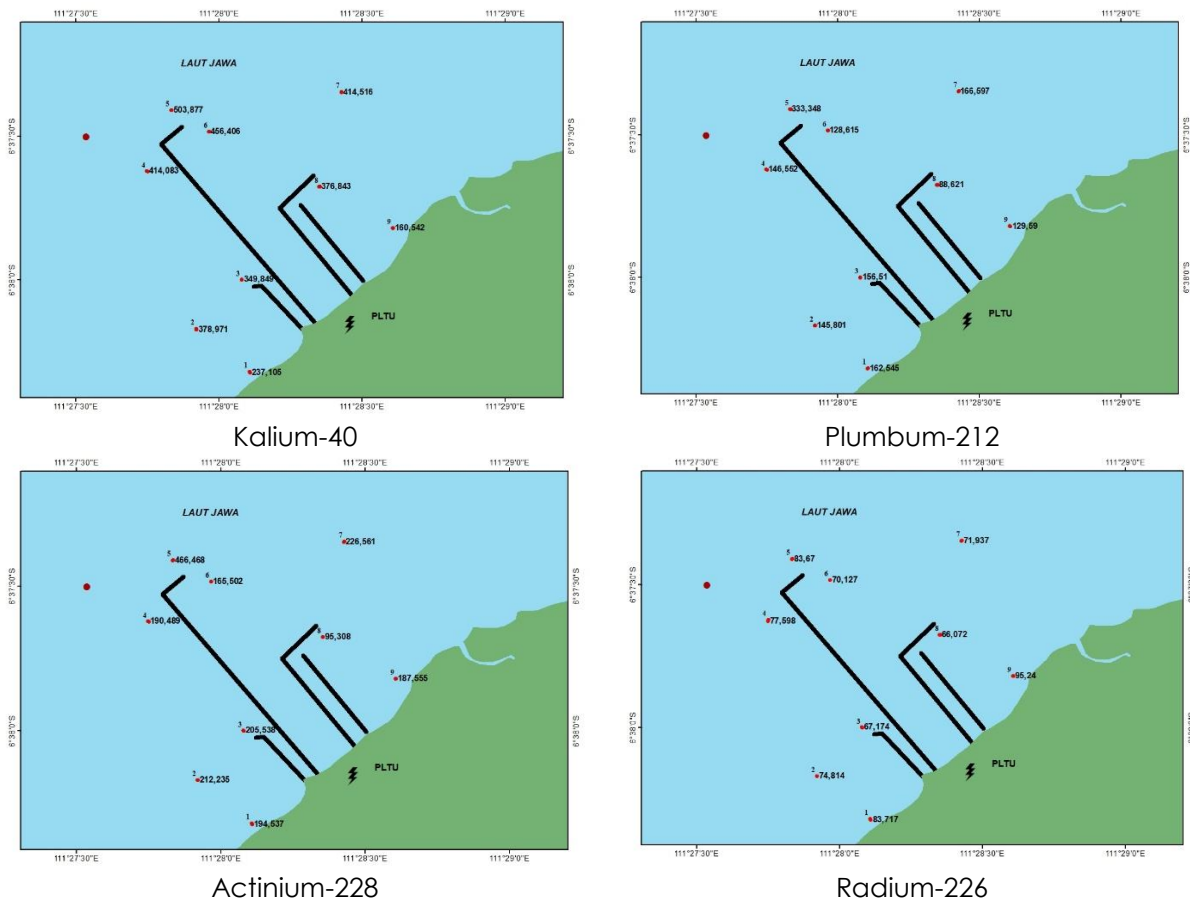
**Gambar 2.** Pola Arus Rata-rata Selama 3 Bulan

Aktivitas radionuklida tertinggi secara keseluruhan berada di stasiun 5, dimana stasiun 5 merupakan stasiun yang dipakai untuk kegiatan pembongkaran muatan batubara dari kapal tongkang. Pada saat berlangsungnya proses pembongkaran akan menyisakan reruntuhan batubara yang jatuh ke perairan yang kemudian berikatan dengan partikel tersuspensi dan terendapkan di dasar laut. Menurut Cooper (2005), adanya masukan batubara dapat meningkatkan aktivitas *naturally occurring radionuclide materials* (NORM).

Proses resuspensi dan pengendapan material radionuklida dapat diakibatkan oleh kondisi lingkungan perairan salah satunya

yaitu kedalaman perairan. Data kedalaman perairan Sluke ditunjukkan dalam Tabel 2.

Aktivitas  $^{40}\text{K}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  dan  $^{228}\text{Ac}$  di stasiun 1 dan 9 memiliki nilai rata-rata aktivitas yang rendah. Hal ini dapat disebabkan karena stasiun 1 dan 9 memiliki kedalaman yang paling dangkal dibandingkan 7 stasiun lainnya. Kecepatan arus yang melewati stasiun 1 dan 9 diduga mampu mengakibatkan pengadukan di perairan dangkal. Menurut Prihatiningsih dan Hudiyo (2013) dan Kurniawan *et al.*, (2014), bahwa kondisi perairan seperti kecepatan arus dan bathimetri mengakibatkan pengadukan secara terus menerus. Pengadukan secara terus-menerus akan mengakibatkan



Gambar 3. Sebaran Radionuklida

resuspensi sedimen sehingga dapat melepaskan radionuklida yang terikat pada sedimen bertekstur pasir ke badan air. Pelepasan radionuklida dari sedimen mengakibatkan berkurangnya nilai aktivitas radionuklida di sedimen (Muslim *et al.*, 2015).

Hasil pemodelan arus dari CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) yang ditampilkan dengan software Ferret ditunjukkan pada Gambar 2a-c yang memperlihatkan pola arus selama 3 bulan dengan pergerakan ke arah timur laut-timur-tenggara di perairan Sluke Rembang. Secara keseluruhan arah dan gerakan arus terlihat cenderung bergerak ke arah timur laut.

Berdasarkan pengolahan data arus dengan overlay ke software ArcGIS didapatkan peta sebaran radionuklida (Gambar 3a-d). Pergerakan radionuklida di perairan dipengaruhi oleh sumber radionuklida yang berada di stasiun 5. Aktivitas radionuklida menyebar dari stasiun 5 menuju stasiun 6 dan 7 sesuai dengan pola

arus yang bergerak ke timur laut (Gambar 2a-c) sehingga terjadi perbedaan nilai aktivitas yang berurutan. Pergerakan aktivitas radionuklida juga terjadi pada stasiun 1, 2, 3, 4, 8 dan 9 menuju ke stasiun 7, terbukti nilai aktivitas radionuklida di stasiun 7 lebih besar (Gambar 3a-c). Hal ini sesuai dengan pendapat Perianez (2006), bahwa pergerakan arus mempengaruhi distribusi radionuklida pada lingkungan perairan.

### KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa aktivitas radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Ac}$  yang terkandung di sedimen di perairan Sluke Rembang memiliki aktivitas secara berturut-turut dari 160,54-503,87 Bq/Kg; 88,62-333,34 Bq/Kg; 66,07-95,24 Bq/Kg dan 95,30-466,46 Bq/Kg. Sebaran radionuklida alam di perairan Sluke Rembang dipengaruhi oleh topografi, sumbernya dan pola arus yang bergerak ke timur laut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Coles, D.G., Ragaini, R.C. & Ondov, J.M. 1978. Behaviour of Natural Radionuclides in Western Coal-Fired Power Plants. *Environ. Sci. Technol.*, 12 (4):442-446. doi: 10.1021/es60140a007
- Copper, M.B. 2005. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Australian Industries-Review of Current Inventories and Future Generation. Environment Radionuclide Services Pty. Ltd.
- Djarwanto, P.S & Subagyo, P. 1998. Statistik Induktif. BPFE, Yogyakarta.
- El-Saharty, A.A., 2013. Radioactive Survey of Coastal Water and Sediments Across Alexandria and Rashid Coasts. *Egypt. J. Aquat. Res.* 39:21-30. doi: 10.1016/j.ejar.2013.02.001
- El-Taher, A. & Madkour, H.A. 2011. Distribution and Environmental Impacts of Metals and Natural Radionuclides in Marine Sediments in-Front of Different Wadies Mouth Along the Egyptian Red Sea Coast. *Appl. Radiat. Isot.* 69:550-558. doi: 10.1016/j.apradiso.2010.11.010
- Jibiri, N.N., Isinkaye, M.O., Bello, I.A. & Olaniyi, P.G. 2016. Dose Assessments from the Measured Radioactivity in Soil, Rock, Clay, Sediment and Food Crop Samples of an Elevated Radiation Area in South-Western Nigeria. *Environ. Earth. Sci.*, 75(2):107-120. doi: 10.1007/s12665-015-4819-3
- Kardan, M.R., Fathabdi, N., Attarilar, A., Esmaeili-Gheshlaghi, M.T., Karimi, M., Najafi, A. & Hosseini, S.S. 2017. A National Survey of Natural Radionuclides in Soils and Terrestrial Radiation Exposure in Iran. *J. Environ. Radioact.* 178-179:168-176. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.08.010
- Kurniawan, S., Muslim & Suseno, H.. 2014. Studi Kandungan Radionuklida Cesium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) dalam Sedimen di Perairan Semenanjung Muria Kabupaten Jepara. *J.I Oseano.*, 3(1):67-73.
- Maher, O.E & Saleh, R.M.A. 2007. Radiation Measurements in Soil in the Middle of Gaza-Strip Using Different Type of Detectors. *J. Ser. Nat. Stud. Eng.* 15: 23-37.
- Modesta, F. 2008. PLTU Rembang Masa Depan Listrik Nasional. <http://modestafiska.wordpress.com>.
- Muslim., Suseno, H. & Rafsani, F., 2015. Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  Radionuclide in Industrial Wastes Effluents of Gresik, East Java, Indonesia. *Atom Indonesia.* 41(1): 47-50. doi: 10.17146/aij.2015.355
- Perianez, R. 2006. Modelling the Dispersion of Radionuclides in the Marine Environment: An Introduction. Springer. DOI: 10.1007/b138979
- Peterson, J., Macdonell, M., Haroun, L. & Monette, F. 2007. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Risk Analyses Contaminated Areas., Argonne National Laboratory Environmental Science Division. U.S.Department of Energy.
- Poerbandono & Djunasjah, E. 2005. Survei Hidrooseanografi. Refika Aditama, Bandung.
- Prihatiningsih, W.R. & Suseno, H.. 2012. Status Konsentrasi  $^{232}\text{Th}$  dan  $^{226}\text{Ra}$  dalam Sedimen Pesisir Pulau Bangka. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 15(2):65-70.
- Prihatiningsih, W. R dan S. Hudiyono. 2013. Radioekologi Kelautan di Semenanjung Muria : Studi Distribusi dan Prilaku Radionuklida Ra-226, Ra-228 dan K-40 di Perairan Pesisir, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa: 303-309.
- Sihono., Sutanto, W.W. & Iswanto. 2012. Radioaktivitas PM 2,5 dan PM 10 di Lokasi PLTU Rembang. Prosiding PTAPB-BATAN, Yogyakarta.
- UNSCEAR. 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, United Nations, New York, USA
- Uslu, I. & Gokmese, F.. 2010. Coal an Impure Fuel Source: Radiation Effects of Coal-fired Power Plants in Turkey. *Hacettepe J. Biol. Chem.*, 38(4):259-268.